

ПОВНОТА РАДІАЦІЙНОЇ РОЗВІДКИ – КРИТЕРІЙ ЯКОСТІ ВИЯВЛЕННЯ ФАКТИЧНОЇ РАДІАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

Досліджується якість інформації, яка отримується від бортових приладів під час радіаційної розвідки місцевості. Розглядаються основні інструментальні похибки вимірювання рівнів радіації існуючими засобами радіаційної розвідки, які значно знижують повноту (якість) виявлення радіаційної обстановки у сучасних умовах.

Ключові слова: радіаційна, хімічна та біологічна розвідка, блок детектування.

Постановка проблеми. Прилади радіаційної розвідки (РР) є основними засобами виявлення радіоактивного зараження місцевості під час усіх існуючих загрозах радіоактивного опромінювання особового складу. Разом з оперативністю отримання розвідувальних даних [1,2], одним з критеріїв, якості виявлення фактичної радіаційної обстановки є повнота ведення радіаційної розвідки, яка по різному трактується у літературі.

У роботах [3,4] вводиться показник повноти ведення розвідки, який характеризує якість ведення РР бортовими приладами під час осередкового зараження місцевості радіоактивними речовинами у вигляді «плям».

У той же час у технічному відношенні повнота пов'язана не тільки з вимірювальним діапазоном потужності дози, але і з урахуванням енергетичного спектру того виду випромінювання, яке знижує боєздатність військ. В літературі [5] якість вимірювання бортовим приладом потужності дози пов'язана з динамічною похибкою приладу, похибкою, яка виникає за рахунок спектральної чутливості («хід з жорсткістю») та анізотропії чутливості блока детектування (БД). Ці похибки відносять до додаткових, але їх вплив на результати вимірювання дуже значний і визначається специфічністю процесу вимірювання у польових умовах. В деяких випадках вони можуть бути за значенням більшими, ніж основна похибка (визначається під час градування приладу в лабораторних умовах). У першу чергу це стосується відмінності енергетичних характеристик іонізуючого випромінювання суміші аварійного викиду АЕС від випромінювання продуктів поділу пального ядерного боєприпасу.

Таким чином існують специфічні вимоги до армійських приладів радіаційної розвідки (РР), які на наш погляд, не знаходять свого відображення у сучасних розробках, а це означає, що не враховуються потреби армійських підрозділів, для ефективного виконання ними завдань за призначенням. Крім того, якщо збільшення інформативності розвідувальної інформації за рахунок поліпшення метролого-технічних характеристик приладів (зниження похибки вимірювань, розширення як енергетичного діапазону так і діапазону вимірювання потужності дози), не викликає дискусій, а потребує лише уточнень взаємозв'язку з повнотою ведення РР, то така характеристика як радіус контролюємої площі ділянки місцевості у точці знаходження машини РХБ розвідки, потребує деяких пояснень.

Аналізу стану питань повноти ведення радіаційної розвідки на сучасному етапі переоснащення машин РХБ розвідки та дослідженню можливості покращення метролого-технічних характеристик (якість вимірювання рівнів радіації) приладів РР за рахунок інструментальних похибок, пов'язаний зміст даної роботи.

1. Інерційність бортового приладу радіаційної розвідки. Відомо, що бортові прилади, які встановлюються у машині РХБ розвідки використовуються для отримання даних про рівень радіації під час ведення розвідки або маршруту висування військ або розвідки району розташування військ. Під час розвідки маршруту висування, вимірювання здійснюється з ходу, без зниження швидкості руху машини (до 40 км/год). У даному випадку бортовий прилад необхідно розглядати як динамічну систему з двома ступенями свободи, які характеризуються незалежними параметрами: потужністю дози та швидкістю руху машини.

Якщо вимірювальна величина залежить від часу: $\dot{X}_{\text{вим}} = \dot{X}(t)$, то ідеальний вимірювальний прилад не спотворює цю залежність

$$\dot{X}_{\text{вим}}(t) = s \cdot \dot{X}(t); s = \text{const} \quad (1)$$

де $\dot{X}_{\text{вим}}(t)$ – вихідна величина, тобто показання приладу, s – його чутливість.

Але через наявність пружин у вимірювальних механізмах та індуктивностей і ємності у електричних ланцюгах, зазвичай $s=s(t)$. Проведені дослідження [5] показують, що показання вимірювачів потужності дози, за допомогою яких здійснюється розвідка, залежать від локального характеру випадінь радіоактивних опадів (нерівномірність опадів – особливо під час аварій на АЕС, нерегулярність у щільності зараження місцевості).

Нехай градієнт потужності дози на маршруті руху постійний $\frac{d\dot{X}}{dl} = a = \text{const}$, іншими словами, прийmemo лінійну апроксимацію вимірювання потужності дози за маршрутом у межах вибраної ділянки. Тоді рівень радіації (потужність дози на висоті 1 м від землі) у будь-якій точці вибраної ділянки руху

$$\dot{X}(t) = \dot{X}_0 + avt, \quad (2)$$

де \dot{X}_0 – початкова потужність дози; $\dot{X}(t) = \dot{X}_0$ при $t=0$; v – швидкість руху машини РХБ розвідки. Враховуючи залежність чутливості приладу від часу, можливо розрахувати динамічну похибку $\Delta_d = avt$. Для $t > t_{\text{вим}}$, де $t_{\text{вим}}$ – час вимірювання (встановлення показань). Множення av реалізується фізично, та пропорційне швидкості зміни напруги або струму на виході реєстратора приладу. У приладі ИМД-21Б це зміна напруги на іонізаційній камері (ІК) об'ємом 200 см³, яка працює у режимі «заряд-розряд» ІК. Якщо $av = \text{const}$ швидкість виводу вимірювальної інформації на цифрове табло приладу, то множення avt показує запізнення виводу вимірюваної потужності дози. Задаючись максимально допустимим значенням динамічної похибки та визначивши максимальну величину швидкості зміни показань, отримуємо величину $t_{\text{вим}}$ (табл.1).

Таблиця 1

Вимоги до швидкодії бортового приладу РР			
Швидкість зміни показань (значення у молодшому розряді/с)	Час вимірювання, с, при динамічній похибці, яка дорівнює		
	2,5%	5%	10%
1	1,5	3	6
0,5	3	6	12
0,2	7,5	15	30

Дослідження інерційності бортових приладів та системний підхід до метролого-технічних вимог приладів, які плануються до взяття на озброєння повинні стати пріоритетним напрямом для головного замовника озброєння та розробників приладів РР.

2. Повнота ведення радіаційної розвідки місцевості. Аналіз нинішніх способів ведення радіаційної розвідки та методів контролю радіоактивних площин показує, що не завжди вони можуть дати нам достовірні дані про радіаційне зараження місцевості. В цьому випадку або дозор РХБ розвідки прокладає маршрут тільки по доступним ділянкам доріг, ставлячи контрольні точки у важливих місцях місцевості (рис.1), що не дає повної інформації про радіаційне зараження місцевості, або недоступні ділянки місцевості контролюються пішими дозорами, що в свою чергу значно збільшує час на виконання завдань. Такий підхід до розвідки району був виправданий тактикою дії під час застосування ядерної зброї. Суцільна зона зараження місцевості під час ЯВ, дозволяло планувати ведення розвідки місцевості таким чином, щоб розраховувати на відстань одного маршруту від другого порядку 1,5-2 км [3].

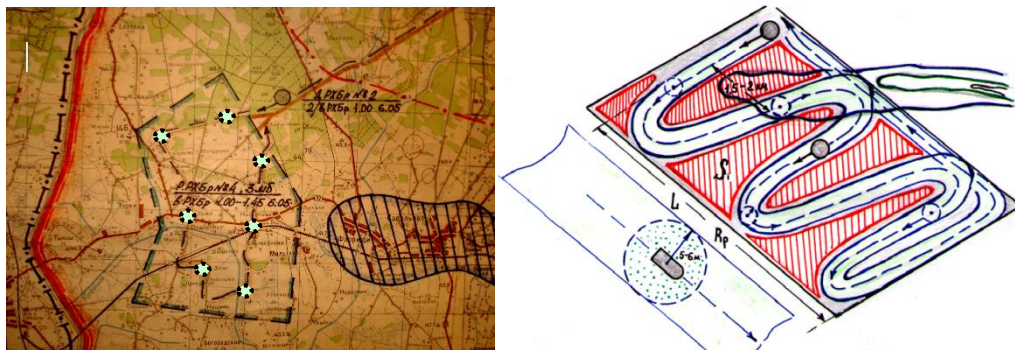


Рис.1. Ведення радіаційної розвідки місцевості

Під час ведення розвідки району (S_0) (або ділянки місцевості) будь яким способом, завжди існує деяка площа (S_i), яка у силу причин вказаних вище, не підлягала розвідці (рис.1). Якщо відстань пройденого маршруту, при цьому, визначити як L , то площа місцевості, яка не підлягає контролю машиною розвідки (з приладам ИМД-21Б), може визначатися як:

$$S_i = S_0 - 2R_p \cdot L, \quad (3)$$

де R_p – радіус контролюючої площини місцевості під час розташування блоку детектування на даній висоті.

Необхідно відмітити, що зменшення S_i (за рахунок збільшення можливості однієї машини РХБ розвідки S_m) і є основним шляхом досягнення якості радіаційної розвідки районів у сучасних умовах (радіологічної зброї, а також локалізації заражених ділянок місцевості під час аварії на АЕС). Тоді, коефіцієнт повноти проведеної розвідки можливо визначити як:

$$K_{\text{повн}} = \frac{2R_p \cdot L}{S_0}. \quad (4)$$

Слід зазначити, що тактично представляє інтерес саме вертикальна складова даного радіуса, так як при веденні РР місцевості горизонтальна складова відпрацьовується рухом машиною розвідки за маршрутом прямування [3,4].

Збільшення радіуса вертикальної складової (по відношенню до БД) і припускає розширення виявленої здатності приладу. Цей параметр у приладу ИМД-23 (Росія) складає 150-200 м. Крім того, аналіз визначеного порядку дій дозору РХБ розвідки, показує, що єдиний на цей час бортовий прилад радіаційної розвідки ИМД-21Б (при енергетичному діапазоні 80-2600 кеВ (табл.2)), починає вимірювання з 1 Р/год, що не дозволяє оперативно визначати в ході радіаційної розвідки передню зону зараження відповідно існуючим нормативним вимогам (0,5 Р/год для ЯВ и 5 мрад/год для АЕС).

Таблиця 2

Метролого-технічні характеристики (МТХ) основних приладів радіаційної розвідки та контролю України, Росії та НАТО

прилади МТХ	Країна								
	УКРАЇНА			РОСІЯ		НАТО			
	МКС-У	ИМД-21Б	ДРГ-Т	ИМД-2Б	ИМД-23	ИМ-174Д/РД	AN/VDR-2	DOM DOR 309 LLR	SVG2
Діапазон вимірювання	0,1 мкЗв/год - 100 Зв/год	1 Р/год - 9999 Р/год	10^{-5} Р/год - 10^3 Р/год	10^{-5} Гр/год - 10^3 Гр/год	10^{-4} Гр/год - 30 Гр/год	1 - 500 рад/год	0,1 мкЗв/год - 9,99 Зв/год	0,1 мк Гр/год - 10 Гр/год	1 мкЗв/год - 20 Зв/год
Енергетичний діапазон, кеВ	50-3000	80-2600	66-1250	50-3000	50-3000	80-3000	70-3000	50-3000	70-3000
Основна похибка вимірювань, %	± 15	± 20	± 15	± 30	± 15	± 15	± 20	± 20	± 20

Вирішення даного питання можливо за рахунок взяття на озброєння бортового приладу ДРГ-Т компанії «Спаринг-Віст» з прийнятним для розвідки як діапазоном вимірювання так і енергетичним діапазоном. Але відсутність інформації про анізотропію чутливості БД (конструктивні особливості побудови БД), особливості встановлення його на броньований засіб РХБ розвідки (енергетична залежність $\delta_{\text{чс}} = \pm 25\%$ при основній похибці у 15%) – викликає критичне ставлення до оцінки повноти отриманої інформації від даного приладу.

3. Дослідження спектральної чутливості. При визначенні рівнів радіації бортовий прилад радіаційної розвідки (ИМД-21Б) здійснює вимірювання експозиційної потужності дози гамма-випромінювання у середині броньованого об'єкта за допомогою іонізаційної камери починаючи з 1 Р/год. В той же час автоматично врахований у приладі коефіцієнт послаблення гамма-квантів бронею корпусу, не враховує енергетичну залежність отриманих результатів. Прийнято вважати, що кратність послаблення гамма-квантів бронею машини розвідки ($K_{\text{посл}}=2-10$) характеризує лише ту частину потужності дози, яка не враховується під час вимірювання блоком детектування.

Дослідження показують, що для машини розвідки (БРДМ-2рхб) коефіцієнт послаблення за цезієм-137 ($E_{\gamma}=0,661$ MeV) дорівнює 4,3, за кобальтом-60 ($E_{\gamma}=1,25$ та 1,7 MeV) складає 2,04. В той же час при врахуванні послаблення гамма квантів для даної машини РХБ розвідки $K_{\text{посл}}$ приймають рівним 4, для усіх випадків. Енергетичний спектр гамма-квантів полів радіоактивного зараження значно ширший за визначений для проведення градуювання бортового приладу.

Оцінимо $K_{\text{посл}}$ гамма-квантів різних енергій, при товщині броні 10-15 мм (табл.2).

Таблиця 2

Залежність коефіцієнта послаблення корпусом БРДМ-2рхб від різних енергій гамма-випромінювання та гамма-сталю

Енергія гамма-випромінювання (MeV)	0,1	0,2	0,3	0,5	0,661	1	1,5	2	3
Гамма-стала (Р·см ² /год·мКи)	0,6	1,2	1,7	2,4	4,5	7	8	10	12
Коефіцієнт послаблення ($K_{\text{посл}}$)	10^6	10^3	70	8	4	2,5	1,9	1,5	1,3

Аналіз показав, що броня є фільтром для усього енергетичного спектру гамма-випромінювання, але іонізаційна камера блока детектування (БДМГ-36) ефективно реєструє тільки 0,661 MeV (за яким відбувалося градуювання приладу ИМД-21Б). Але для гамма-квантів з іншою енергією $K_{\text{посл}}$ буде мати інше значення, що або взагалі не дозволить вимірювати потужність дози приладом ИМД-21Б, або буде значно збільшена основна похибка вимірювання (у діапазоні від 0,08 до 2,6 MeV додатково до 20%). Реальна нечутливість блока детектування до гамма-полів визначеної енергії буде залежати від активності радіонуклідів, але при однакових умовах для $K_{\text{посл}} - 10^6, 10^3, 70$ гамма-кванти в діапазоні енергій від 0,1 до 0,3 MeV – взагалі не реєструються БДМГ-36. Якщо спектр радіоактивно зараженої місцевості (під час ведення РР) складає n-компонент, а q_i – відносний вклад i-ої компоненти у потужність дози $\left(\sum_{i=1}^n q_i = 1\right)$, то похибка спектральної чутливості дорівнює:

$$\delta_{\text{чс}} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{S_i}{S_{\text{ном}}} - 1 \right) \cdot q_i \quad (5)$$

де $S_{\text{ном}}$ – чутливість приладу (під час градуювання); S_i – чутливість приладу під час вимірювання i-ої енергетичної компоненти.

Більш коректно можливо вимірювати усі енергії гамма-випромінювання, за рахунок винесення бортового блока детектування за межі машини РХБ розвідки, як це зроблено на розвідувальних машинах «ФОКС», КРПІ або РХМ-6.

4. Дослідження анізотропії чутливості. За рахунок того, що детектори іонізуючого випромінювання мають лінійні розміри (циліндрична форма), то прилад має різну чутливість реєстрації випромінювання з різних напрямків надходження гамма-квантів. Ця похибка у літературі отримала назву – анізотропія чутливості БД.

Оцінимо дану похибку для деяких існуючих на озброєнні приладів РР (таблиця 3), здійснюючи опромінення джерелами іонізуючого випромінювання Cs-137 на відстані 1 м, Am-241 та Sr-90 на відстані 5 см. Відсутність значень у деяких положеннях обґрунтовується чутливістю приладів до джерел іонізуючого випромінювання (різною радіаційною товщиною детектора).

Таблиця 3

Залежність потужності дози від кута падіння гамма-випромінювання у горизонтальній площині

Прилад		Кут падіння випромінювання								
		-90	-57,5	-45	-22,5	0	+22,5	+45	+57,5	+90
МКС-У № 0808014 (мкЗв/год)	Cs-137	1,91	4,30	4,88	4,69	5,1	4,73	5,03	4,29	2,30
	Am-241	0,31	0,52	0,60	0,76	0,82	0,62	0,45	0,30	0,28
	Sr-90	0,29	0,31	0,35	0,40	0,45	0,46	0,41	0,38	0,29
ИМД-12 № Л160235 (мкР/год)	Cs-137	290	352	373	441	481	472	433	345	208
	Am-241									
	Sr-90	33	36	47	42	61	53	50	44	27
ДКС № 0598631 (мкЗв/год)	Cs-137	0,43	0,37	0,43	0,45	0,54	0,45	0,46	0,37	0,40
	Am-241	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03
	Sr-90									

Аналіз отриманих результатів показав, що неточність (достовірність) вимірювань, за рахунок анізотропії БД для комбінованого блока детектування приладу МКС-У може скласти – до 0,37 (тобто $\dot{x}_{\text{вим}} = 0,37 \cdot \dot{x}$), для ИМД-12-3 – до 0,6, для ДКС – 0,95. Найменшу похибку під час ведення радіаційної розвідки можливо очікувати від приладу ДКС (Селвис) з напівпровідниковим детектором CdTe.

У таблиці 4 приведені результати дослідження вертикальної чутливості БД приладу ИМД12-2 від кута впливу гамма-випромінювання.

Таблиця 4

Залежність потужності дози (мР/год) від кута падіння гамма-випромінювання у вертикальній площині

Прилад		Кут падіння випромінювання									
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
ИМД-12-2	Cs-137	0,2	0,33	0,47	0,6	0,63	0,66	0,61	0,56	0,51	0,45

Максимальна чутливість приладу буде, тільки при використанні усієї площини детектора, що характерно для перпендикулярного розташування БД до гамма-квантів (горизонтальне розташування БД до землі на висоті 0,7-1 м). Але, при цьому кут падіння випромінювання залишається параметром випадковим. Тому конструктивно довершений детектор повинен мати кулеподібну конструкцію.

Таким чином, чутливість детектора виникає через відмінності форми детекторів від

кулеподібної, а також через вплив на чутливість детектора елементів конструкції приладу, розташованих поблизу детектора.

Висновки

1. З метою отримання більш повної вимірюваної інформації від бортового приладу про рівні радіації на місцевості, за якою потім плануються дії особового складу, доцільно мати кулеподібну конструкцію блока детектування та виносити його за межі машини розвідки. Результати дослідження інструментальних похибок бортових приладів, які визначають якість та повноту вимірюваної інформації доцільно враховувати на етапі проектування та в правилах експлуатації приладів радіаційної розвідки.
2. Загальний коефіцієнт повноти проведеної радіаційної розвідки повинен бути комплексним показником якості і відображати якість проведення радіаційної розвідки, як за рахунок контролюючої площини, так і за рахунок якості вимірювальних величин.
3. Сучасний парк військової дозиметричної апаратури дійсно потребує поновлення, закупівлі сучасних зразків, але їх проектування повинно здійснюватися згідно технічних вимог, які визначає замовник, виходячи із сучасних загроз, а дослідні зразки приладів обов'язково проходити військові випробування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Абрамсон А.Н., Чернявський І.Ю., Марущенко В.В. Обґрунтування необхідності удосконалення засобів військової дозиметрії // Збірник наукових праць № 1(52) –К.: ЦНДІ ОБТ ЗС України – 2014 –352 с.
2. Чернявський І.Ю. Обґрунтування шляхів вдосконалення системи збору та обробки інформації про РХБ обстановку при виконанні завдань підрозділами та частинами у складі ОСШР щодо нейтралізації збройного конфлікту/ І.Ю.Чернявський // Інформаційний бюлетень військ РХБ захисту // Науково-інформаційне видання. Харків. ХІТВ, 2008.–№ 6(6).– С.100.
3. Чернявський І.Ю. Повышение качества проведения радиационной разведки районов путем увеличения контролируемой площади бортовым прибором радиационной разведки / И.Ю. Чернявский, В.В. Марущенко // Механіка та машинобудування // Науково-технічний журнал. Харків. НТУ «ХПІ», 2010. – №1. – С. 217–222.
4. Чернявський І.Ю. Увеличение контролируемой площади при ведении радиационной разведки местности // Механіка та машинобудування // Науково-технічний журнал. Харків. НТУ «ХПІ», 2013. – №1. – С. 220–225.